



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 101 01 546.1

**Anmeldetag:** 15. Januar 2001

**Anmelder/Inhaber:** MAN Technologie AG, Augsburg/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Herstellung einer hochtemperatur-  
festen Faserverbundkeramik

**IPC:** C 04 B 35/80

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 24. Januar 2002  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Jerofsky

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer hochtemperaturfesten Faserverbundkeramik durch Gasphasen-Infiltration (CVI = Chemical Vapor Infiltration) mit einem Siliciumcarbid-Prekursor in einem dazu geeigneten Trägergas, vorzugsweise an Kohlenstofffaser- oder Siliciumcarbidfaservorformen.

Kohlenstofffaser- oder siliciumkarbidfaserverstärkte Siliciumcarbid-Keramiken haben sich nicht nur als hochtemperaturfest erwiesen. Sie zeichnen sich auch durch ein niedriges spezifisches Gewicht aus und eignen sich deshalb als Werkstoff zur Herstellung von thermisch-mechanisch belasteten Strukturbauteilen, beispielsweise für rückkehrfähige Raumfahrzeuge. Ein Beispiel für solche Strukturbauteile ist eine Steuerklappe, wie sie für den Experimentalraumgleiter X-38 oder sogenannte Crew Return Vehicles der Internationalen Raumstation ISS vorgesehen ist. Anwendungsbereiche sind auch Flügelvorderkanten, Nasenspitzen, Steuerruder und Hitzeschutzbeplankungen für Raumfahrzeuge und Hyperschallfluggeräte.

Das Gasphasen-Infiltrationsverfahren, auch kurz CVI-Verfahren genannt, ist seit mehr als zwanzig Jahren bekannt (E. Fitzer und D. Hegen, Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 18 (1979), 295-304). Schon damals wurde festgestellt, dass zur Erreichung einer guten "Imprägnierung" die Gesamtabscheidungsrate in den Poren nicht durch die Transportgeschwindigkeit sondern nur durch die Geschwindigkeit der chemischen Reaktion gesteuert werden darf (S. 299, a.a.O., linke Spalte, erster Absatz). Daraus wurde gefolgert, dass die Abscheidung bei niedrigen Temperaturen und niedrigen Konzentrationen durchgeführt werden muss. Unter "niedrigen Temperaturen" wurden solche unter 1000°C verstanden.

Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet befanden es für er-

forderlich, die einzuhaltende Prozesstemperatur auf bis zu  $900 < T < 1100^{\circ}\text{C}$  und den Gesamtdruck auf  $0,1 < p < 0,6 \text{ atm}$  einzustellen (R. Naslain et. al., "The Carbon-Fiber Carbon and Silicon Carbide Binary Matrix Composites. A New Class of Materials For High Temperatures Applications", Proc. ICCM 3, 3<sup>rd</sup> Intern. Conf. On Composite Materials, Paris, 1981, p. 1084-1097). Aus der Beschreibung experimenteller Ergebnisse geht jedoch hervor, dass für die Erzielung brauchbarer Infiltrationsergebnisse die tatsächlich angewendeten Bedingungen teilweise deutlich unterhalb den genannten Obergrenzen zu liegen haben, nämlich bei  $900 < T < 1000^{\circ}\text{C}$  und  $0,05 < p < 0,5 \text{ atm}$  (R. Naslain et. al., "Synthesis and Properties of New Composite Materials for High Temperature Applications Based on Carbon Fibers and C-SiC or C-TiC Hybrid Matrices, Revue de Chimie Minérale", Tome 18, 1981, p. 544-564).

Begründet wurde die Wahl niedriger Prozessparameterwerte dadurch, dass die Lebensdauer der zur Siliciumcarbid(SiC)-Bildung führenden Molekülspezies vergrößert und so die Abscheidung in der Tiefe der Poren ermöglicht wird. Derartige Prozessparameter bedingen aber eine sehr geringe Abscheiderate und damit eine lange Prozessdauer für die Erzeugung einer Matrix von mehreren hundert Stunden. Ihre Notwendigkeit wurde jedoch auch in R. Naslain, "Fibrous Ceramic-Ceramic Composite Materials for Transport Applications", Proc. MRS Materials Research Society Meeting, Strasbourg, 1985, p. 99 bis 115 nochmals betont.

Die Verfahren nach dem Stand der Technik beruhen auf Prozessbedingungen, die eine möglichst große freie Weglänge der gasförmigen Molekülspezies zulassen, welche an der zur Abscheidung von Siliciumcarbid (SiC) führenden Reaktion beteiligt ist. Auf diese Weise sollte das Vordringen der Siliciumcarbid bildenden Spezies in die tieferen Zonen einer Faservorform und damit ein über die Wanddicke gleichförmiger Eintrag der SiC-Matrix gewährleistet werden. Allerdings ist die Lebensdauer der wesentlichen in Betracht zu ziehenden Molekülspezies in

dem für die Bildung von SiC anwendbaren Temperaturbereich sehr kurz. Es handelt sich dabei nämlich um metastabile Bruchstücke der Ausgangsstoffe, wie  $\text{SiCl}_2$ ,  $\text{SiCl}_3$  oder  $\text{CH}_3$ , aus denen in einer Oberflächenreaktion an einem Substrat und in den Hohlräumen einer Faservorform, die SiC-Matrix gebildet wird. Entsprechend gering sind auch die Ausbeuten, bezogen auf die eingesetzte Stoffmenge.

Diese Kurzlebigkeit bedeutet für die oben genannten Maßnahmen zur Förderung der Tiefeninfiltration eine entgegengesetzte Wirkung. Die Bildungsgeschwindigkeit der SiC-Matrix wird einerseits bestimmt durch den Antransport der reaktionsfähigen Gasspezies, der durch niedrige Temperatur und niedrigen Partialdruck des Ausgangsstoffes begrenzt wird sowie durch den behinderten Abtransport von Chlorwasserstoff ( $\text{HCl}$ ), der an der Substratoberfläche als Nebenprodukt absorbiert wird, und eine inhibierende Wirkung auf die SiC-bildende Oberflächenreaktion ausübt (F. Langlais, C. Prebende, Proc. 11<sup>th</sup> Intern. Conf. On Chemical Vapour Deposition, Seattle 1990, Ed. K.E. Spear and G.W. Cullen, Electrochem. Soc., p. 686-959).

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es demnach Bedingungen für ein CVI-Verfahren anzugeben, mit welchen sich die im Stand der Technik auftretenden Nachteile vermeiden lassen. Insbesondere sollten mit solchen Bedingungen sehr gute Infiltrationsergebnisse, d.h. Materialeigenschaften erzielt werden, bei gleichzeitiger wesentlicher Verkürzung der erforderlichen Prozessdauer und damit bei erhöhter Wirtschaftlichkeit eines großtechnischen Herstellungsverfahrens.

Überraschender Weise konnte diese Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung einer hochtemperaturfesten Faserverbundkeramik durch Gasphasen-Infiltration (CVI) mit einem Siliciumcarbid-Prekursor in einem geeigneten Trägergas an Kohlenstofffaser- oder Siliciumcarbidfaservorformen erreicht werden, wobei sich das Verfahren dadurch auszeichnet, dass der Prozessdruck auf  $\geq 0,6$  bar absolut und die Prozesstemperatur

auf  $\geq 1.100\text{ }^{\circ}\text{C}$  eingestellt wird.

Bei der Durchführung des Infiltrationsverfahrens bei einer Temperatur von  $1.100\text{ }^{\circ}\text{C}$  und darüber sowie einem Druck von über  $0,6\text{ bar}$  absolut und höher wurde ein Ergebnis erzielt, das aufgrund der Lehren des Standes der Technik in keinerlei Hinsicht zu erwarten war. Die Abscheidung der SiC-Matrix in einem  $8\text{ mm}$  dicken Laminat aus Kohlenstofffaser-Leinwandgewebe mit einem Faservolumengehalt von  $43\%$  ist von beiden Seiten bis in die Tiefe von  $4\text{ mm}$ , also bis in die Mitte des Laminates vollständig gelungen. Es sind dabei mit einer Prozessdauer von nur  $80\text{ Stunden}$  Materialeigenschaften erzielt worden, die vergleichbar mit denen eines Werkstoffes sind, wie er mit bekannten Verfahren bei einer Prozessdauer von mehreren Wochen erhalten wird.

Das ist um so überraschender, als die wesentlichen Verfahrensbedingungen, wie Prozessdruck und Prozesstemperatur, weit über den Werten, die im Stand der Technik empfohlen werden, liegen. Der höhere Prozessdruck von  $0,6\text{ bar}$  absolut und höher vermindert die erforderliche und angestrebte Tiefeninfiltration nicht, vielmehr wird durch das erhöhte Stoffangebot in Verbindung mit der erhöhten Prozesstemperatur die Reaktionsgeschwindigkeit des thermisch aktivierten Abscheidungsprozesses erhöht und zum anderen die Desorption des inhibierenden Nebenproduktes HCl beschleunigt.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den Prozessdruck zwischen  $0,6$  und  $1,25\text{ bar}$  absolut und die Prozesstemperatur zwischen  $1.100$  und  $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$  einzustellen. Hierbei ist jedoch festzuhalten, dass die Obergrenze des Prozessdruckes im Wesentlichen durch die Art der verwendeten CVI-Anlage bestimmt ist und somit auch höhere Drücke anwendbar sind.

Der zu verwendende Prekursor sollte Silicium und Kohlenstoff in einem Verhältnis enthalten, das eine SiC-Abscheidung möglichst ohne gleichzeitig auftretende Verunreinigungen zulässt. Er muss insbesondere leicht verdampfbar sein. Beispielsweise

könnte Siliciumtetrachlorid ( $\text{SiCl}_4$ ) zusammen mit Methan ( $\text{CH}_4$ ) verwendet werden.

Erfindungsgemäß werden zur SiC-Abscheidung jedoch vorzugsweise Chlor(alkyl)silane als Ausgangsstoffe eingesetzt, weil hier zum einen im Molekül Silicium und Kohlenstoff in einem für die SiC-Abscheidung geeigneten Verhältnis enthalten sind und am wenigsten Nebenprodukte in Form teeriger Substanzen die Matrixbildung stören können. Am bevorzugtesten verwendet man jedoch Methyltrichlorsilan (MTS), da hier im Molekül Silicium und Kohlenstoff im richtigen stöchiometrischen Verhältnis für eine SiC-Bildung vorhanden sind. In allen Fällen wird jedoch Wasserstoff als Trägergas eingesetzt, das auch am Reaktionsgeschehen durch Reduktion intermediärer Zwischenstufen aus dem Zerfall von Methyltrichlorsilan unter Bildung von Chlorwasserstoff ( $\text{HCl}$ ) teilnimmt bzw. die Reaktion zugunsten der Ausbildung der Matrix verschiebt. Der gebildete Chlorwasserstoff wird durch die erhöhte Temperatur ausgetrieben und behindert somit nicht die SiC-Abscheidung.

Für das erfindungsgemäße Verfahren hat es sich auch als vorteilhaft erwiesen, ein Partialdruckverhältnis von Wasserstoff zu Methyltrichlorsilan zwischen 4 und 8 einzustellen. Selbst ohne Erhöhung der Temperatur konnten hier durch die höheren MTS-Partialdrücke gute Ergebnisse bei der Verdichtung (Matrixbildung) erzielt werden.

Darüber hinaus ist es von großem Vorteil zwischen der Gaseinspeisung in dem Reaktionsraum und den zu infiltrierenden Fasergelegen ein hitzebeständiges Material mit großer Oberfläche anzuordnen, an der das Prozessgas durch eine Vorreaktion konditioniert wird. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass nicht vorreagiertes Prozessgas eine schnelle Abscheidung an den äußeren Oberflächen der Fasergelege und damit eine Versiegelung ihrer Zutrittsporen verursacht. Ursache dafür ist die Anwesenheit thermisch instabiler Molekülspezies, das sind vor allem siliciumreiche Produkte, die sich unmittelbar nach Ein-

tritt des noch kalten Prozessgases im Reaktionsraum bilden und nur eine kurze Lebensdauer bei der Prozesstemperatur aufweisen. Diese Molekülspezies werden an dem hitzebeständigen Material mit großer Oberfläche abreagiert. Nur Molekülspezies mit einer langen Lebensdauer gelangen an die zu infiltrierenden Fasergelege und ermöglichen die Siliciumcarbid-Abscheidung in der Tiefe der Fasergelege.

Als hitzebeständiges Material mit großer Oberfläche dient in der Regel ein Kohlenstofffaserfilz von etwa 20 mm Dicke, der um das Gaseinspeisungsrohr, das über seine Länge mit Löchern versehen ist, gewickelt wird.

Versuche haben gezeigt, dass ein Temperaturbereich von 1.100 bis 1.200 °C in Verbindung mit einem Prozessgasdruck zwischen 0,6 und 1,25 bar absolut und in Verbindung mit einem H<sub>2</sub>/MTS-Partialdruckverhältnis von 4 bis 8 die besten Infiltrationsergebnisse liefert. Eine für die interessierenden Bauteile für Raumfahrzeuge typische Wandstärke von 4 mm mit einem Faseranteil von 42-44 Vol%, vorzugsweise in 0°/90°-Ablage, kann bei Einstellung der genannten Bedingungen bereits in 25 bis 40 Stunden bis zu einer Dichte infiltriert werden, die den so erzeugten C/SiC-Verbundbauteilen die folgenden Eigenschaften verleiht:

Dichte	1,8 - 2,1 g/cm
Zugfestigkeit	300 - 330 MPa
Bruchdehnung	0,7 - 1,0 %
Elastizitätsmodul	50 - 80 GPa
Biegefestigkeit	350 - 450 MPa
Interlaminare Scherfestigkeit	25 - 35 MPa

Solche Materialeigenschaften genügen den Verwendungsanforderungen voll.

Die Infiltration wird vorzugsweise bis zur Einstellung einer Restporosität von 12 bis 15 Vol% durchgeführt, ein Merkmal das

für die meisten in Betracht gezogenen Anwendungszwecke geeignet ist. Auch dieses Merkmal lässt sich mit Hilfe der angegebenen Verfahrensparameter bei wesentlich verkürzter Prozessdauer einstellen.

Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zunächst Vorformen aus Kohlenstofffasern oder Siliciumcarbidfasern erzeugt, indem Faserlagen ausgebildet und die Faserlagen untereinander mittels Bindemittel fixiert und beabstandet werden, gegebenenfalls bei gleichzeitiger Ausformung und Stabilisierung der gewünschten endproduktnahen Vorform.

Für die in Betracht gezogenen Anwendungszwecke ist es vorteilhaft die Faserlagen in einer  $0^{\circ}/90^{\circ}$ -Ablage zu erzeugen.

Als Bindemittel wählt man vorteilhaft organische und/oder siliciumorganische Polymere. Diese bilden bei den genannten Infiltrationsbedingungen aus Kohlenstoff oder SiC bestehende, feste Rückstände aus und stören damit den Aufbau der Keramik nicht. Das Bindemittel kann in üblicher Weise durch Aufsprühen, Bestreuen, Aufwalzen oder Tauchen (Prepreggen) auf das Fasergewebe oder -gelege aufgebracht werden.

Die erfindungsgemäß erzeugten hochtemperaturfesten Faserverbundkeramiken sind ausgezeichnete Werkstoffe zur Herstellung von Bauteilen, insbesondere für Anwendungsbereiche in der Luft- und Raumfahrttechnik. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird dabei insbesondere an Steuerklappen, Flügelvorderkanten, Nasenspitzen, Steuerruder oder Hitzeschutzbeplankungen für Raumgleiter und Hyperschallfluggeräte gedacht. Viele dieser Bauteile werden beispielsweise beim Eintritt in die Erdatmosphäre oder die hohen Fluggeschwindigkeiten stellenweise bis zu  $1800^{\circ}\text{C}$  heiß und dabei zum Teil erheblich mechanisch belastet.

Siliciumcarbidfasern weisen aufgrund ihrer amorphen Struktur eine wesentlich geringere Temperaturbeständigkeit als Kohlen-



stofffasern auf und verlieren oberhalb etwa 1000°C in kurzer Zeit ihre Festigkeit. Kurze Prozesszeiten sind daher von entscheidender Bedeutung, um einen leistungsfähigen SiC/SiC-Verbundwerkstoff zu erzielen. SiC-Fasern haben sich in einer Verbundkeramik mit SiC-Matrix [SiC/SiC-Keramik] für tribologische Anwendungen, wie zum Beispiel Pumpenlager bewährt.

Mit der vorliegenden Erfindung werden Werkstoffe bereitgestellt, welche die für diesen Anwendungsbereich erforderliche Hochtemperaturfestigkeit und Leichtigkeit aufweisen. Aufgrund der gewählten Prozessbedingungen können solche in erheblich kürzerer Zeit und damit wirtschaftlich hergestellt werden.

### **Ausführungsbeispiele**

#### **1. Herstellung von Halbzeugen für Lagerhülsen aus SiC/SiC**

Aus einer Gewebbahn aus SiC-Fasern wurde durch Wickeln an einer Bandwickelmaschine ein Rohr mit 700 mm Länge, 120 mm Außendurchmesser und 5 mm Wandstärke hergestellt. Die Gewebelagen der Gewebbahn wurden durch einen Binder aneinander fixiert.

Nach einer thermischen Behandlung zur Stabilisierung der Bindung der Lagen untereinander wurde das Geweberohr (Vorform) ohne weitere Vorrichtung an einem Befestigungsdorn in die CVI-Anlage gestellt und die Fasern zunächst mit Kohlenstoff beschichtet. Danach wurde zur Infiltration mit der SiC-Matrix die Temperatur im Reaktionsraum auf 1.200 °C gebracht und ein Prozessgas bestehend aus Methyltrichlorsilan (MTS) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>) im Verhältnis 1:4 in einem Strom von 42 l/min eingeleitet, wobei der Prozessgasdruck auf leicht über Atmosphärendruck eingestellt wurde. Die SiC-Infiltration wurde nach 22 Stunden durch Evakuieren und Abschalten des Heizstroms und Fluten mit Argon beendet. Das Produkt dieses Prozesses war ein Rohr aus SiC/SiC-Verbundkeramik mit 42 Vol% Fasern, einer Dichte von 2,3 g/cm<sup>3</sup> und einer Biegefestigkeit von 420 MPa. Es

wurde als Halbzeug für Lagerhülsen verwendet, die durch Zerteilen des Rohres und anschließende Außen- und Innenbearbeitung der Abschnitte mit Diamantwerkzeugen an einer Rundschleifmaschine hergestellt wurden.

## **2. Herstellung von Halbzeugen für Lagerteile aus C/SiC**

Aus einer aus mit Kohlenstoff beschichteten Kohlenstofffasern hergestellten Gewebbahn, auf die eine Bindermasse aufgetragen war, wurde an einer Bandwickelmaschine ein Rohr mit 600 mm Länge, 45 mm Außendurchmesser und 8 mm Wandstärke hergestellt. Die Bindermasse für die Bindung der Lagen untereinander wurde durch thermische Behandlung verfestigt und so eine handhabungsstabile Vorform mit fixierten Lagenabständen erzeugt.

Diese Rohrvorform wurde wie in Beispiel 1 in die CVI-Anlage eingesetzt. Der Reaktionsraum wurde auf eine Temperatur von 1.100 °C gebracht und als Prozessgas eine Mischung von MTS und H<sub>2</sub> im Verhältnis 1:8 eingeleitet, die in einem Volumenstrom von 25 l/min mittels einer Pumpe mit Regelventil auf einem Druck von 0,6 bar absolut gehalten wurde. Mit dem nach 80 Stunden beendeten Prozess wurde ein C/SiC-Rohr mit einer Dichte von 2,0 g/cm<sup>3</sup> bei einem Fasergehalt von 43 Vol% erzeugt. Der Werkstoff wies eine Biegefestigkeit von 450 MPa auf.

Es wurden daraus durch Heraustrennen von Rohrabschnitten und Außen- und Innenrundscheifen Elemente für ein Gleitlager zum Einsatz in einer Steuerklappe für ein rückkehrfähiges Raumfahrzeug (entsprechend dem Deutschen Patent 198 10 067.1) hergestellt, die zum Schutz der Kohlenstofffasern vor Oxidation durch das beim Wiedereintritt entstehende Luftplasma mit SiC durch Gasphasenabscheidung (CVD) beschichtet und abschließend an den Gleitflächen einer Feinbearbeitung unterzogen wurden.

## **3. Herstellung von Komponenten für Steuerklappen aus C/SiC**

Für eine Steuerklappe gemäß dem in Beispiel 2 erwähnten deut-

schen Patent wurden auf folgende Weise die Grundelemente des Klappenkörpers hergestellt:

Aus einer Gewebbahn, die aus mit Kohlenstoff beschichteten Kohlenstofffasern gewoben und auf die eine Bindermasse aufgetragen worden ist, wurden Zuschnitte angefertigt, aus denen durch Handlaminieren und Verdichten im Autoklaven kastenförmige Elemente von 1,2 bis 1,6 m Länge und etwa 0,4 m Breite mit jeweils drei Querstegen zur Versteifung hergestellt wurden. Die durchschnittliche Wandstärke betrug 4 mm. Durch thermische Behandlung wurde der Binder ausgehärtet, so dass die Bauteile für die weitere Handhabung stabilisiert und die Gewebelagen auf den gewünschten Abstand für ein Faservolumen von 42% fixiert waren. Die Bauteile wurden an einfachen Aufhängungen aus Graphit, die nur punktförmige Berührungen mit den Bauteilen hatten, in den Reaktorraum der CVI-Anlage positioniert. Nach der Evakuieren und Fluten mit Inertgas wurde auf die Prozesstemperatur von 1150 °C geheizt und das Reaktionsgas, bestehend aus MTS und H<sub>2</sub> im Verhältnis 1:6 mit einem Gesamtstrom von 35 l/min bei einem Druck von 0,85 bar absolut, eingeführt und der Prozess 40 Stunden bei diesen Bedingungen durchgeführt.

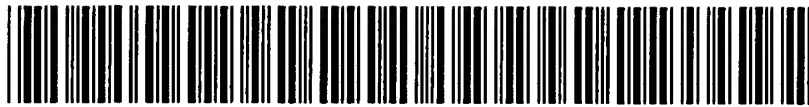
Auf diese Weise wurden C/SiC-Bauteile für Steuerklappen erzeugt, die eine Dichte von 1,9 g/cm<sup>3</sup> (auf Grund des höheren Kohlenstoffanteils aus dem Binder niedriger als in den Bauteilen der Beispiele 1 und 2) und eine Biegefestigkeit von 350 MPa aufwiesen. Die Bauteile wurden in weiteren Arbeitsschritten auf Maß bearbeitet und an den Flächen plangeschliffen und danach zum Schutz gegen Oxidation mittels Gasphasenabscheidung (CVD) mit SiC beschichtet.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer hochtemperaturfesten Faser-verbund-Keramik durch Gasphaseninfiltration (CVI) mit einem Siliciumcarbid-Prekursor in einem geeigneten Trägergas an Kohlenstofffaser- oder Siliciumcarbidfaservorformen, dadurch gekennzeichnet, dass der Prozessdruck auf  $\geq 0,6$  bar absolut und die Prozesstemperatur auf  $\geq 1.100^{\circ}\text{C}$  eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Prozessdruck zwischen 0,6 und 1,25 bar absolut und die Prozesstemperatur zwischen  $1.100$  und  $1.200^{\circ}\text{C}$  eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Siliciumcarbid-Prekursor aus Chlor(alkyl)silanen ausgewählt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass man zur Siliciumcarbidabscheidung Methyltrichlorsilan (MTS) in Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) als Trägergas einsetzt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Partialdruckverhältnis von Wasserstoff zu Methyltrichlorsilan zwischen 4 und 8 eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass man zwischen der Gaseinspeisung in dem Reaktionsraum und den zu infiltrierenden Fasergelegen ein hitzebeständiges Material mit großer Oberfläche anordnet, um das Prozessgas vorzukonditionieren.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das hitzebeständige Material mit großer Oberfläche Kohlenstofffaserfilz ist.

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer hochtemperaturfesten Faserverbundkeramik durch Gasphasen-Infiltration (CVI) mit einem Siliciumcarbid-Prekursor in einem geeigneten Trägergas an Kohlenstofffaser- oder Siliciumcarbid-faservorformen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch die Anwendung eines Prozessdruckes von  $\geq 0,6$  bar absolut und einer Prozesstemperatur von  $\geq 1.100^{\circ}\text{C}$  aus. Die Erfindung betrifft auch Bauteile, insbesondere für die Luft- und Raumfahrttechnik, welche üblicherweise hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugt worden sind.



Creation date: 05-08-2003  
Indexing Officer: HTRAN5 - HENRY TRAN  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 10053211

Legal Date: 18-04-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	IMIS	1

Total number of pages: 1

Remarks:

Order of re-scan issued on .....